Über die Einwirkung von Radium- und ultravioletten Strahlen auf die Mineralfarben

von

C. Doelter,
k. M. k. Akad.

(Mit 3 Textfiguren.)

(Vorgelegt in der Sitzung am 10. Dezember 1908.)

Ich gebe in dieser Mitteilung die Fortsetzung meiner Studien über die Einwirkung von Radiumstrahlen auf die Farben der Edelsteine (siehe Sitzungsberichte der kaiserl. Akademie der Wissenschaften in Wien, Bd. CXVII, Abt. I, 1908).

Es wurden weitere Versuche mit einem Radiumpräparat von 1 *g* Radiumchlorid und mit einem zweiten, schwächeren, ein halbes Gramm Chlorid haltigen, durch 3, beziehungsweise $1^1/_2$ und 1 Monat ausgeführt. Herrn Prof. Dr. F. Exner, sowie Herrn Prof. St. Meyer bin ich für die Erlaubnis zur Benützung der Radiumpräparate zu Dank verpflichtet.

Im Anschluß an die Bestrahlungsversuche mit Radium wurden weitere Versuche mit Stoffen gemacht, die sich in einer Sauerstoff-, beziehungsweise Stickstoffatmosphäre befanden, ferner Versuche über die Stabilität der durch Radium erzeugten Färbungen bei Temperaturerhöhung, sowie bei Erhitzen in Stickstoff und Sauerstoff ausgeführt und auch in Wasserstoffsuperoxyd die Körper eingetaucht.

Endlich wurden sowohl unveränderte Mineralien als auch durch Radium veränderte der Einwirkung ultravioletter Strahlen ausgesetzt.

Bezüglich der Literatur über die Mineralfarben verweise ich auf eine Arbeit von W. Hermann: »Über die Einwirkung

oxydierender und reduzierender Gase auf die Färbung einiger Minerale.[1]

Seither erschien auch eine Arbeit von K. Simon,[2] in welcher einige Versuche über Radiumbestrahlung angeführt sind, wobei nur 10 *mg* Radiumbromid angewendet wurden. Es fällt, wenn man die Angaben verschiedener Beobachter, die 3 *mg*, 10 *mg*, 30 *mg*, 60 *mg* zur Verfügung hatten, während ich ein ganzes Gramm benützte, auf, daß der Einfluß der Menge kein so großer ist als man annehmen könnte und daß die Resultate nahezu dieselben sind. Dagegen scheint der Einfluß der Zeit ein bedeutenderer zu sein. Bei zu kurzer Einwirkung ist auch bei starken Präparaten die Veränderung gering.

Bezüglich Phosphoreszenz bemerkte ich, daß diese nach 12 Stunden, nachdem die Objekte aus der Radiumkassette herausgenommen waren, nicht mehr auftrat.

I. Färbungen durch Radiumstrahlen.

Grüner Diamant.

Ein grüner, brasilianischer Diamant, 16^l bis 17^l, war vom 6. Juli bis 14. Oktober mit dem starken Radiumpräparat behandelt worden und wurde nur wenig verändert, etwas mehr blaugrün und heller, 16^{p-o}.

Ein zweiter, ähnlicher Diamant von demselben Fundorte war am 6. Juli bis 14. Oktober mit demselben Präparat bestrahlt worden; er wurde von 16^n zu 15^n, also mehr reingrün. In der Folge ist, wo nichts anderes bemerkt wurde, das stärkere Präparat gemeint.

Die beiden Diamanten wechseln also ihre Farben in verschiedenem Sinne.

Gelber Diamant.

Gelber Diamant vom Kap war bei den früheren Versuchen fast gar nicht verändert worden, auch dieses Mal vom 6. Juli bis 14. Oktober war die Veränderung keine große, nämlich von 6^u bis 6^l—7^s; immerhin ist die Färbungsintensität eine etwas größere, wenn auch immerhin noch minimale.

---

[1] Zeitschr. für anorg. Chemie, 1908, Bd. 60.

[2] N. Jahr. für Mineralog., 26. Beil. Bd., 1908, 260.

Künstlicher Rubin.

Ein von Frémy hergestellter Rubin wurde vom 6. Juli bis 14. Oktober immerhin eine Spur dunkler, von 25^q bis 25^p; die dunklere Färbung ist aber äußerst gering.

Ein Rubin, von der deutschen Edelsteingesellschaft hergestellt, bleibt ganz unverändert 24^n bis 25^n (Beobachtungszeit vom 7. November bis 5. Dezember mit schwächerem Radiumpräparat).

Rubin.

Ein Violettrubin von Ceylon war vom 14. Oktober bis 5. Dezember mit dem schwächeren Radiumpräparat behandelt worden und war weniger violett und blässer, 26^c gegen 25^i, geworden.

Ein Rubin vom Ural war vom 21. Oktober bis 5. Dezember mit dem schwächeren Präparat bestrahlt worden, er war wenig verändert, aber doch etwas merklich violett, mehr blutrot, von ursprünglich 24^i bis 25^i zu 25^k bis 26^l.

Saphir.

Obgleich schon seit längerer Zeit bekannt ist, daß Saphir gelb wird, so war es doch notwendig, zu untersuchen, ob dies eine allgemeine Eigenschaft des Saphirs ist, respektive welche Saphire sie zeigen und welche nicht. Es wurden daher von verschiedenen Fundorten Saphire untersucht.

Ein Saphirkrystall von Ceylon (Nr. 1), mit der für diesen Fundort charakteristischen Form, war vom 6. Juli bis 14. Oktober der Einwirkung von 1 *g* Radiumchlorid ausgesetzt und zeigte wesentliche Änderung von 18^r hellblau zu gelbbraun.

Ein Saphir von demselben Fundort, Nr. 2, war in derselben Zeit wenig verändert, 18^{m-n} zu 18^{k-l}, also nur wenig dunkler, aber nicht gelb geworden.

Ein tiefdunkelblauer Saphir von der Iserwiese (Nr. 3) war vom 6. Juli bis 14. Oktober ganz unverändert.

Ein Saphir von Miasc, Nr. 4, blaugrün, 16^{e-f}, war vom 14. Oktober bis 16. November gelbgrün geworden, 14^{n-m}, auch heller.

Ein blauer Saphir von Ceylon, Nr. 5, 18°, war vom 6. Juli bis 14. Oktober zu 18^k verändert, also nur dunkler geworden.

Ein kleiner, blauer Saphir vom Ural, Nr. 6, wurde vom 21. Oktober bis 5. Dezember von 20^k zu 20^n. Ein anderer (Nr. 7) von demselben Fundort wird von 20^n gelb mit einzelnen blauen Flecken.

Zwei Bruchstücke eines blauschwarzen Saphirs vom Ilmengebirge (Ural), Nr. 7, waren ebenfalls nur wenig verändert, obgleich die meisten Uraler Saphire gelb werden. Sie waren vom 21. Oktober bis 5. Dezember mit dem schwächeren Radiumpräparat behandelt worden und wurden von 18^k bis 19^k zu 18^{k-l}, also kaum verändert.

Nicht viel verändert waren zwei Bruchstückchen eines dunklen Saphirs, Nr. 8, von Ashville (Nordamerika), die vom 16. November bis 5. Dezember mit demselben Präparat behandelt worden waren; die ursprüngliche Farbe 20^f wird zu 18^f.

Ein Saphir von Montana, Nr. 9, grünblau, 16^p bis 15^p, war etwas mehr verändert worden, indem er zu 13^p wird, also gelblichgrün, er war mit dem schwächeren Präparat vom 14. November bis 5. Dezember bestrahlt worden.

Wir sehen also, daß Saphire sich verschieden verhalten und daß sogar verschiedene Teile eines und desselben Krystalls verschieden sind, immerhin zeigen die meisten Saphire mit Ausnahme der dunklen Neigung zum Gelbwerden; es scheint also weniger der Fundort als die Intensität der Farbe von Wichtigkeit zu sein.

Zirkon (Hyazinth), $ZrSiO_4$.

In meiner ersten Mitteilung über diesen Gegenstand hatte ich angegeben, daß dunkler Hyazinth von Ceylon sich nur wenig verändert. Anders verhält sich die Sache, wenn man Hyazinth vorher glüht und dann den Radiumstrahlen aussetzt. Beim Glühen verhält sich Zirkon sehr verschieden, je nachdem man den Luftzutritt ermöglicht oder je nachdem man in reduzierenden Gasen glüht. Ich kann hierin die Ansicht Simon's nicht ganz teilen; allerdings ist richtig, daß das Endresultat schließlich dasselbe ist, aber die Reaktionsgeschwindigkeit ist

in beiden Fällen verschieden; im ersten Falle geht die Entfärbung schon bei 700° ziemlich rasch vor sich, im zweiten Falle mußte ich bei dem genannten Zirkon von Espailly, trotzdem nur ein winziges Krystall genommen wurde, durch 2 Stunden bis 1200° erhitzen. Es ist aber auch nicht ausgeschlossen, daß sich verschiedene Hyazinthe verschieden verhalten.

Ein brauner Zirkon, 2^h, wurde nach starkem Glühen zwar nicht vollständig entfärbt, aber hellbräunlich, 2^i. Dieser entfärbte Zirkon war vom 21. Oktober bis 5. Dezember mit dem schwachen Radium behandelt worden und wurde zu 2^h, also dunkelbraun, wie früher vor dem Glühen.

Simon (l. c.) erhielt mit seinem schwachen Radiumpräparat schon nach wenigen Stunden rotbraune Färbung.

Grüner Zirkon.

Graugrüner Zirkon von Ceylon, 15°, wurde vom 6. Juli bis 14. Oktober bestrahlt, die Farbe wird 11^l bis 36^k, also etwas dunkler und mehr gelblichgrün, die Veränderung ist gering.

Ein blaugrüner Zirkon von Ceylon wurde in derselben Zeit viel mehr blau (vgl. Mitteilung I).

Flußspat.

Es wurden Flußspäte verschiedener Farben und auch solche verwendet, die durch Erhitzen bei zirka 300° farblos geworden waren.

Blaugrüner Flußspat, Nr. 1, von Appenzell wurde nach 4 Tagen von 16^z bis 17^z zu 16^g bis 17^g, also viel intensiver blaugrün gefärbt. Er blieb noch über 3 Monate, vom 10. Juli bis 14. Oktober, exponiert und erhielt dann die noch dunklere Färbung 18^e, man sieht aber, daß er in dieser langen Zeit sich weniger veränderte als in den ersten 4 Tagen, daß also die Veränderung nicht proportional mit der Zeit fortschreitet, sondern sich bald stark verlangsamt.

Fluorit Nr. 2 von Appenzell, blaßgrün, 17^{r-s}, war vom 21. Oktober bis 16. November mit dem schwächeren Radiumpräparat behandelt worden und zeigte dunkelblaugrüne Farbe.

Derselbe Fluorit, durch Erhitzen farblos geworden, wird vom 21. Oktober bis 16. November zu 20^{i}, blau (schwächeres Präparat).

Ein ebenfalls entfärbter Fluorit, Nr. 3, aus Tirol, wird vom 6. Juli bis 14. Oktober 14°, grün.

Tiefvioletter Flußspat wird, wie aus Mitteilung I, p. 828, hervorgeht, nicht weiter entfärbt, anders verhalten sich hellviolette und durch Erhitzen farblos gewordene dunkelviolette Flußspäte.

Blaßvioletter Fluorit Nr. 4 von Schlaggenwald wird vom 14. Oktober bis 16. November grünlichblau, 17^{p}, gegen 22^{i} ursprünglich.

Violetter Fluorit von Derbyshire, Nr. 5, durch Erhitzen entfärbt, war vom 21. Oktober bis 16. November mit dem schwächeren Radiumpräparat bestrahlt worden; er wurde zu 21^{g}, während er vor dem Erhitzen 22^{i} war, also sehr wenig verschieden, er ist aber etwas dunkler geworden.

Zwei Bruchstücke von violetter Farbe des Fluorits Nr. 4 waren erhitzt worden; sie hatten noch eine Spur von violettem Stich beibehalten; nach derselben Expositionszeit waren sie stark blaugrün, 18^{n-m}.

Ein anderer entfärbter Fluorit, Nr. 4, war zu 21^{n} geworden in derselben Zeit, also mehr violett (schwaches Präparat).

Ein gelber Fluorit (Nr. 6) von Freiberg war von 6^{r-s} zu 18^{z}, also von gelb zu grünlichblau verändert, derselbe war mit dem starken Radiumpräparat vom 6. Juli bis 14. Oktober bestrahlt worden.

Gelber Fluorit, Nr. 6, war durch Erhitzen farblos geworden und wurde mit dem schwächeren Präparat vom 21. Oktober bis 16. November bestrahlt und nahm die Färbung 16^{c-d} an; das Bruchstück hatte die ursprüngliche Farbe 7^{q-z} gehabt und war sehr dunkel geworden.

Rosa Flußspat vom Gotthard, Nr. 7, war durch Glühen entfärbt worden, nach Bestrahlung mit dem stärkeren Radiumpräparat vom 6. Juli bis 14. Oktober war er 24^{p}, purpurrot, geworden.

Vergleicht man die verschiedenen Resultate an Fluoriten, so ergibt sich zumeist eine bläulichviolette oder blaugrüne

Färbung als Endresultat Die farblosen oder durch Glühen farblos gewordenen Fluorite verändern sich stärker, werden also dunkler als die farbigen. Letztere schienen erst durch die Einwirkung des Radiums ihre Färbung ohne Änderung der Farbenintensität zu ändern.

Gelber, blauer und violetter Flußspat scheinen am leichtesten die blaugrüne Färbung anzunehmen, während rosa Fluorit mehr violett wird und nicht blaugrüne Farbe annimmt. Rein tiefvioletter von Derbyshire erleidet keine Veränderung mehr (Mitteilung I, p. 829). Entfärbte Fluorite werden schneller und intensiver gefärbt.

Smaragd ($Be_3 Al_2 Si_6 O_{18}$).

Ein Exemplar vom Habachtal (Nr. 1) erlitt trotz der langen Bestrahlung vom 6. Juli bis 14. Oktober nur eine ganz unmerkliche Veränderung von 16^l bis 15^{l-u}, mehr rein grün.

Smaragd vom Ural (Nr. 2), 15^m bis 16^m, ist während derselben Zeit eine Spur dunkler geworden, 15^l bis 16^l.

Smaragd vom Ural (Nr. 3), 15^m, ist ebenfalls dunkler geworden, 15^i.

Im Vergleich zu meinen früheren Angaben (Mitteilung I, p. 832) ist trotz der sehr langen Bestrahlungsdauer keine größere Veränderung zu beobachten gewesen.

Ein Smaragd vom Habachtal (Nr. 4) war durch 30 Minuten bei Weißglut (zirka 1100°) geglüht worden, er wurde zu 15^{u-m}, hatte also, da er früher 16^{l-u} war, nur eine ganz geringfügige Änderung erlitten. Das Glühen hatte im Tiegel stattgefunden, wobei das Mineral mit den reduzierenden Gasen der Flamme in Berührung kam, welchem Umstand ich die geringe Einwirkung beim Erhitzen zuschreibe.

Dieser Smaragd war vom 6. Juli bis 14. Oktober eingelegt worden und veränderte sich von 15^u bis 16^m zu 15^l bis 16^u und war also eine Spur heller geworden.

Kuntzit ($LiAlSi_2O_6$).

Ein Bruchstück eines fast farblosen Kuntzits mit minimalstem violetten Stich zeigte nach einer Radiumeinwirkung vom 6. Juli bis 14. Oktober eine grüne Färbung, 14^p, und war

also auch der Intensität nach stärker gefärbt; einen ähnlichen Fall erwähnte ich in der ersten Mitteilung. Der durch Erhitzen in Sauerstoff farblos gemachte Kuntzit zeigte nach 36 Tagen eine intensive bläulichgrüne Färbung.

Turmalin.

Es wurden eine Anzahl von Versuchen mit Turmalinen von Elba, die, mit Ausnahme von Nr. 3, mehrere Farben an verschiedenen Teilen besaßen, ausgeführt.

Turmalin Nr. 1, sogenannter »Mohrenkopf«, mit schwarzem Ende, ist fast farblos mit gelblichem Stich. Er wird vom 14. Oktober bis 16. November dem stärkeren Präparat exponiert und zeigt dann eine zartrosa Farbe: 24^{t}. Das schwarze Ende ist unverändert.

Turmalin Nr. 2 zeigt drei Farben und ist ein prismatischer, dreieckiger Krystall mit Endfläche; an diesem Ende ist er $^1/_2\,mm$ dick blauschwarz, hierauf folgt ein rosenfarbener Teil, 35^{q}, dann am entgegengesetzten Ende ein zart orangefarbener, 5^{t}. Nach Einwirkung vom 6. Juli bis 14. Oktober zeigt letzterer Teil eine braune Farbe, der mittlere Teil ist stärker rosa geworden, 27^{m}, der blauschwarze unverändert.

Ein farbloser Turmalin (Nr. 3) von Elba war, wie die Nummern 4 bis 9, vom 21. Oktober bis 5. Dezember mit dem schwächeren Radiumpräparat behandelt worden, er wurde 2^{u}, eine Spur orangegelb, die Änderung ist minimal.

Ein Turmalin (Nr. 4) war an einem Ende rot, 25^{r}, am anderen blau, 20^{m}, dazwischen farblos. Die farblose Schichte verschwand und es waren nur zwei verschieden gefärbte Teile mehr, der eine rot, 25°, also dunkler, die andere etwas heller blau, $20°$.

Ein Turmalin (Nr. 5) war an dem einen Ende grünlich, 12^{s}, am anderen schwärzlichblau, dazwischen weiß. Auch diese weiße Schicht verschwand, es blieb eine grüne Schicht, 9^{c}, die also dunkler geworden war und die unveränderte schwärzlichblaue.

Ein Turmalin (Nr. 6), an einem Ende gelb, 11^{s}, am anderen fast farblos, in der Mitte hellgelb, zeigte nach Bestrahlung am gelben Ende 9^{l}, also viel dunkler gelb, am anderen 30^{t}, violett.

Ein Turmalin (Nr. 7), an dem einen Ende mit schwarzer Kappe, am anderen violettgrau, 19^t bis 20^t, ist in der Mitte am schwarzen Ende dunkelrosa, 24^m, am anderen hellrosa, 20^q, die Kappe bleibt schwarz, das andere Ende wird zu 40^p. Das hellrosa wird 29^q, wenig verändert, der dunkelrosafarbene Teil 24^m, wird 23° bis 42^m, auch wenig verändert.

Ein Turmalin (Nr. 8), gelblich, 10^{r-s}, mit schwarzblauer Kappe, wird violett, 23^r, das blaue Ende ist wenig verändert, ganz unten, am entgegengesetzten Ende, ist er auch gelblich, 9^q.

Ein Turmalin (Nr. 9), mit dunkelblauem Ende, 19^n, ist in der Mitte farblos und am anderen Ende olivengrün, 10^{r-s}, er wird am letzteren gelb, 9^q, in der Mitte rosa, 23^s, am blauen Ende blässer, 19°.

Die Turmaline Nr. 3 bis 9, Geschenke des Dr. Cornu, stammen von Elba und waren vom 27. Oktober bis 5. Dezember bestrahlt worden (schwächeres Präparat).

Thulit ($HCa_2Al_3Si_3O_{13}$).

Thulit von Lexwick, manganhaltig wird vom 6. Juli bis 14. Oktober nur wenig verändert, von 27^n wird er 29^p, also ganz wenig heller und mehr karmin.

Uwarowit blieb in derselben Zeit ganz unverändert.

Piemontit (Manganepidot).

Piemontit von St. Marcel ist nur etwas heller geworden, ohne die Farbenart zu ändern. Die ursprüngliche Farbe war 32^b, sie wird zu 32^d, im ganzen also keine bedeutende Änderung vom 6. Juli bis 14. Oktober.

Violan (Manganaugit).

Dieses Vorkommen von St. Marcel hat die Farbe 20^l und hat sich nicht merklich verändert.

Atakamit [$Cu_2Cl(OH)_3$].

Atakamit von Neuseeland hatte seine dunkelgrüne Farbe nicht verändert, auch war er wie früher glänzend und hat also keine Verwitterung mit Wasserverlust stattgefunden. Die Einwirkung von Radium hatte vom 14. Oktober bis 16. November gedauert.

Schwefel von Girgenti.

Dieses Mineral wird fast gar nicht verändert, aber etwas trübe, möglicherweise ist das durch eine Oxydation verursacht; am 14. Oktober war die ursprüngliche Farbe 8^{s-t}, am 16. November 9^{s}.

Eisenvitriol.

Ein kleiner, grüner Krystall von Eisenvitriol war bereits nach 4 Tagen zu einem sehr hellgrünen Pulver unter Wasserverlust zerfallen, es trat also ein ähnlicher Verwitterungsprozeß auf wie bei Chromalaun (Mitteilung I, p. 837).

Ein Schichtkrystall von Cobaltsulfat mit einer Hülle von grünem Eisensulfat war nach Bestrahlung vom 14. Oktober bis 16. November nur wenig verändert. Der Versuch wurde hauptsächlich in der Absicht hergestellt, um bei diesen chemisch verschiedenen Schichten auch eine etwaige Diffusion im festen Zustand zu prüfen. Es zeigt sich, daß dort, wo Sprünge sind, die grüne Farbe in die violette eingedrungen ist, aber auch dort, wo dies nicht der Fall ist, ist die Grenze zwischen dem violetten inneren Kern und dem grünen oft sehr unregelmäßig und nicht scharf wie früher. Der innere Kern von Cobaltsulfat war eine Spur dunkler, der äußere eher etwas blässer.

Rhodochrosit ($MnCO_3$).

Rhodochrosit von Nagyag blieb vom 6. Juli bis 14. Oktober ganz unverändert.

Braunit ($MnO.MnO_2$).

Bleibt unverändert.

Uwarowit ($Ca_3Cr_2Si_3O_{12}$).

Uwarowit (Chromgranat) vom Ural blieb trotz dreimonatlicher Expositur fast unverändert, von 15^{i} wurde er zu 15^{k}, zeigt also einen unmerklichen Unterschied.

Bernstein.

Bernstein wurde vom 14. Oktober bis 16. November der Einwirkung des starken Radiumpräparats ausgesetzt und wurde

etwas dunkler; die ursprüngliche Farbe war 5^m, die veränderte 5°, er ist etwas dunkler. Es ist das von Interesse, weil es zeigt, daß ein Stoff, von welchem angenommen war, daß er sich durch Radium nicht verändert, doch nicht unveränderlich ist, trotzdem hier offenbar eine idiochromatische Färbung vorliegt.

Färbungsversuche mit farblosen Mineralien.

Es wurde der Versuch gemacht, eine Anzahl von Mineralien, die in der Natur sowohl farblos als auch in einzelnen Fällen farbig vorkommen, durch Radium zu färben; es wäre dies insofern für die Frage nach der Natur des Färbemittels von Interesse, als dann anzunehmen wäre, daß ihre Färbung durch Radium zustande käme, was in der Natur auf zweierlei Arten möglich wäre; erstens durch das Zusammenvorkommen mit radiumhaltigen Mineralien, zweitens durch radiumhaltige Gasexhalationen oder Quellen.

Quarz.

Nr. 1. Ein kleiner »Marmaroser Diamant«, krystallisiert, wurde vom 14. Oktober bis 16. November, zuerst bis 7. November der Einwirkung von 1 *g* Radiumchlorid, dann der von $^1/_2$ *g* Radiumchlorid ausgesetzt. Die Einwirkung war eine sehr schwache, bis 7. November war nur eine ganz zarte Bräunung eingetreten, während am 16. November sich die Farbe mit 42^s, also ein sehr helles Violettbraun, feststellen ließ.

Nr. 2. Von anderen Quarzen war ein zweiter »Marmaroser Diamant« vom 14. Oktober bis 5. Dezember wie die drei folgenden mit dem schwachen Radiumpräparat bestrahlt, schwach bräunlich geworden.

Ein Bruchstück (Nr. 3) wurde rosenfarbig, also zu Rosenquarz.

Ein sehr heller Rauchquarz vom Gotthard (Nr. 4), 32^u, war zu 32^q geworden, also dunkler.

Nr. 5. Ein ganz farbloses Quarzbruchstück war schwach bräunlich geworden.

Opal.

Ein Opal von Dubnik war etwas milchig, aber nahezu farblos mit einem unbestimmbaren Stich ins Gelbliche. Derselbe

wurde vom 14. Oktober bis 16. November stark orange, mehr opalisierend als früher, auch war er bedeutend trüber. Es war hier das schwächere Radiumpräparat angewendet worden.

Barytgruppe.

Ein Barytkrystall (Nr. 1) von Přibram, farblos, mit zartgelblichem Stich, war vom 21. Oktober bis 5. Dezember mit dem schwächeren Radiumpräparat behandelt worden und wurde schön blau, 17^{l}.

Ein farbloser Baryt von demselben Orte (Nr. 2) war etwas blässer, 17^{p-q}, unter sonst gleichen Bedingungen.

Ein Baryt von Felsöbanya (Nr. 3) von schaliger Textur, farblos, wurde 17°, steht also der Farbe nach zwischen beiden.

Nach einer Mitteilung des Herrn Dr. Himmelbauer wurden Coelestin und Anglesit ebenfalls blau durch Radium.

Anhydrit ($CaSO_4$).

Anhydrit von Aussee, krystallisiert, war farblos und wird zart orangegelb, 4^{s}. Die Bestrahlung war dieselbe wie bei Baryt.

Calcit.

Ein violetter Calcit von Joplin wurde etwas dunkler gefärbt (siehe Mitteilung I, p. 833).

Es wurde ein farbloser Calcit von Bleiberg vom 14. Oktober bis 5. Dezember dem schwächeren Radiumpräparat ausgesetzt. Es ergab sich keine Spur von Färbung.

Aragonit von Rohitsch-Sauerbrunn, der dieselbe Zeit durch bestrahlt war, blieb farblos.

Kryolith von Grönland blieb ebenfalls farblos.

Boraxgläser.

Boraxmanganoxydglas wird trüb und dunkelbraun, überzieht sich mit einer weißen Haut, wahrscheinlich ein Verwitterungsprodukt durch Wasserverlust.

Eisenoxydboraxglas wird braun und trüb, undurchsichtig.

Chromoxydboraxglas, grün, wird trüb, dunkelbraun.

Cobaltboraxglas unverändert.

Silikatgläser.

Chromoxydsilikatglas ist etwas dunkler grün geworden.

Verschiedene Glassorten, welche bei den Versuchen der Bestrahlung mit Sauerstoff und Stickstoff gedient hatten, waren verschiedenartig gefärbt.

Zwei gleiche Glasröhrchen, das eine mit Sauerstoff, das andere mit Stickstoff gefüllt, ergaben verschiedene Resultate; ersteres war nun hellbraungelb, letzteres tiefgelb.

Ein zweites Glas, in welchem Sauerstoff eingefüllt war, ergab eine helle Amethystfärbung, das mit Stickstoff gefüllte dunkelblaue Färbung.

Einwirkung von Radiumstrahlen auf in einer Sauerstoffatmosphäre befindliche Mineralien.

Erster Versuch.

In ein Fläschchen mit eingeriebenem Stöpsel, in welchem sich rosa Fluorit, gelber Topas und blaßgelber Citrin befanden, war Sauerstoff aus einer Bombe geleitet worden. Das Fläschchen wurde neben das Röhrchen, welches 1 *g* Radiumchlorid enthielt, vom 6. Juli bis 14. Oktober gelegt; das Resultat war für rosa Fluorit eine Umwandlung von 30^s zu 24^u, also eine bedeutendere Stärkung der Farbenintensität; dagegen war Topas sehr wenig verändert, von 4^p zu 4°, also kaum merkbar; Citrin war ebenfalls nur wenig verändert.

Zweiter Versuch (Edelsteine).

Es wurden in ein sehr dünnwandiges Glasröhrchen eine Anzahl von Steinen eingelegt und durch dieses Sauerstoff eingeleitet und dann das Röhrchen verschlossen, um zu eruieren, welchen Einfluß diese Disposition hat. Das Resultat ist analog wie bei Versuch I.

In dem Röhrchen waren violetter Saphir vom Ural, tiefbrauner Hyazinth von Espailly, durch Glühen blaßgelb geworden, Smaragd vom Habachtal, durch Glühen bei 1200° heller geworden, Rauchtopas vom Gotthard, Rosenquarz von

Madagaskar und endlich violetter Fluorit von Schlaggenwald, welcher durch Glühen farblos geworden war, schließlich gelber Fluorit von Freiberg, ebenfalls entfärbt.

Die Versuchsdauer war vom 22. Oktober bis 16. November und war das starke Radiumpräparat, 1 *g* Radiumchlorid enthaltend, verwendet worden.

Das fast farblose, einen grünen Stich zeigende Glasröhrchen war hellviolett gefärbt worden. Von den im Röhrchen befindlichen Körpern waren zwei mehr verändert worden, nämlich Hyazinth und Saphir.

Der Saphir Nr. 10 war braunviolett, 24^{r-q}, und wird braun mit violettem Stich, 16^{i}; er ist dunkler geworden, aber die Veränderung ist keine bedeutende, namentlich im Vergleich zu jenen Veränderungen, die ohne Anwesenheit von Sauerstoff erzielt worden waren.

Der Hyazinth war durch Glühen 2^{s-t} geworden von ursprünglich 2^{h} und wurde nun durch Radium 2^{n}, also viel schwächer als früher ohne Sauerstoff.

Wenig verändert waren geglühter Smaragd vom Habachtal, 15^{z}, er wird nur etwas blässer, 15^{s}, ein kaum merklicher Unterschied. Zu bemerken wäre, daß die völlige Entfärbung des Smaragds in einem hohen Tiegel nicht gelungen war, trotzdem er 2 Stunden im Fourquignon-Ofen bei 1200 bis 1250° erhitzt worden war.

Rosenquarz, der eine sehr schwache, kaum merkliche rosa Färbung zeigte, war kaum verändert, er war zart bräunlich gefärbt, 26^{u} bis 27^{u}. Dabei ist zu bemerken, daß Rosenquarz zu denjenigen Stoffen gehört, welche sonst sehr rasch und intensiv verändert werden.

Rauchtopas, fast farblos, mit braunem Stich, 34^{v}, wird wenig dunkler, 34^{s}, der Unterschied ist sehr gering.

Fluorit von Schlaggenwald, blaßviolett, wurde durch Glühen entfärbt; er wurde bei diesem Radiumversuche 18^{m-n}.

Fluorit (Nr. 6) von Freiberg, gelb, dann durch Erhitzen farblos gemacht, blieb auch nach dem Versuche farblos.

Man sieht also, daß der Einfluß des Sauerstoffes auf die Verfärbungen recht bedeutend ist.

Einwirkung von Radiumstrahlen auf in einer Stickstoffatmosphäre befindliche Edelsteine.

Erster Versuch.

Wie bei dem ersten Versuch mit Sauerstoff, so war auch hier ein Fläschchen mit eingeriebenem Stöpsel angewendet worden, in welchem sich folgende Edelsteine befanden: Topas von Brasilien, gelblich; Rosenquarz von Madagaskar; Saphir von Ceylon, blau; grüner Zirkon von Ceylon. Der Stickstoff wurde aus einer Bombe eingeleitet.

Die Versuchsdauer war vom 6. Juli bis 14. Oktober.

Topas zeigt bedeutendere Veränderung als mit Sauerstoff von 4^{l}, zart gelblich, wird er zu 3^{r}, orange, also viel kräftiger.

Rosenquarz ist dagegen sehr stark verändert, er war ganz schwach gefärbt, 25^{l}, während er nach der Bestrahlung nahezu schwarz wird, an den Kanten wenig durchscheinend, mit den Farben 1^{a} bis 33^{b}. Der Einfluß des Stickstoffes war daher geradezu Null.

Saphir von Ceylon Nr. 11 war wenig verändert, da aber manche Saphire überhaupt wenig verändert werden, so läßt sich nicht entscheiden, wie weit der Einfluß des Stickstoff geht. Der Saphir zeigte zweierlei Färbungen, der hellere Teil ist 18^{o-p}, der dunkelblaue Teil 17^{l}. Nach Einwirkung vom 6. Juli bis 14. Oktober war der erste, hellere Teil 17^{p-q}, also kaum heller als früher, während der dunkle Teil zu 20^{i} umgewandelt war, also mehr violett.

Der grüne Zirkon von Ceylon war mehr blaugrün geworden, 16^{l} bis 19^{r}.

Zweiter Versuch.

Auch hier wurde ganz so wie bei dem zweiten Sauerstoffversuch Stickstoff durch eine sehr dünne Glasröhre, in welcher sich die untengenannten Mineralien befanden, durchgeleitet und die Enden des Röhrchens während des Durchleitens zugeschmolzen.

Es befanden sich in dem Röhrchen Rauchtopas vom Gotthard, Saphir von Ashville, geglühter, fast farbloser Zirkon (Hyazinth) von Espailly, Flußspat, gelb, durch Glühen entfärbt (Freiberg), entfärbter violetter Flußspat von Schlaggenwald, Rosenquarz von Madagaskar.

Die Versuchsdauer war vom 21. November bis 5. Dezember und wurde das starke Radiumpräparat angewendet. Die Resultate sind:

	Farbe vor Bestrahlung	Farbe nach Bestrahlung
Flußspat, violett, dann erhitzt	farblos	violett, 20^{p-q}
Saphir	blau, 18^{n-m}	gelb mit blauen Flecken
Hyazinth	fast farblos, 2^{s-t}	orangebraun, 5^{i}
Rosenquarz	sehr blaß, 27^{u-v}	rosa, 22^{r} bis 23^{r}
Amethyst, geglüht	farblos	violettblau, 22^{n}
Fluorit, ursprünglich gelb, erhitzt	farblos	violett, 20^{n}

Das Glasröhrchen, in welchem sich die Mineralien befanden, war dunkelviolettblau geworden.

Aus den Parallelversuchen geht hervor, daß manche Mineralien unter Einfluß der Radiumbestrahlung sich bei Gegenwart von Sauerstoff und Stickstoff gleichartig verändern, während bei anderen, z. B. Rosenquarz, Rauchquarz, der Unterschied sehr bedeutend ist; dagegen scheint bei Amethyst dieser gering. Bei Hyazinth ist der Grad der Farbe ein anderer. Bei Saphir scheint Sauerstoff verlangsamend zu wirken auf die Färbung.

Wasserstoffatmosphäre begünstigt nach einem Versuche von Simon die Radiumfärbung.

Labilität der durch Radium erzeugten Farben bei Flußspat.

Mit Ausnahme des rosa Flußspats sind die Veränderungen bei Flußspat keine bleibenden. In einem Falle bei violettem Flußspat, der zu 18^{n}, also blau geworden war, zeigte sich schon nach Verlauf einiger Tage, ohne daß Temperaturerhöhung oder Bestrahlung stattgefunden hatte, eine merkliche Abschwächung

der Farbe. Ultraviolette Strahlen bringen nach wenigen Stunden die ursprüngliche Farbe wieder. Ähnliches ist ja auch bei gelbem und bei grünem Flußspat beobachtet worden.

Im ganzen läßt sich sagen, daß fast alle durch Radium veränderten Flußspäte nach 8 bis 14 Tagen, trotzdem sie in einer verschlossenen Lade aufbewahrt waren, kleine, oft auch größere Veränderungen ihrer Farbe zeigten, wobei blauer und blaugrüner Flußspat blässer werden. Da ein Einfluß des Lichtes ausgeschlossen war, so ist eher ein chemischer Prozeß, der dem durch Radium entgegengesetzt ist, zu vermuten und ist es einigermaßen wahrscheinlich, daß dieser in einer Oxydation besteht. Flußspat ist übrigens nicht das einzige derartige Mineral, auch Topas, mit Radium bestrahlt, hatte nach 14 Tagen seine Farbe unter denselben Umständen verändert, auch Manganoxydboraxglas war etwas heller geworden.

Labilität der in Gläsern durch Radium erzeugten Farben bei Temperaturerhöhung.

In einigen Fällen, aber nicht in allen, schwinden die durch Radium verursachten Farben schon bei der sehr niederen Temperatur von 88°. Insbesondere scheinen die Gläser bereits bei geringer Temperaturerhöhung ihre durch Radium erhaltenen Farben zu verändern.

Ein Glas, welches durch 3 Monate der Einwirkung von 1 *g* Radiumchlorid ausgesetzt war, hatte eine gelbbraune Farbe angenommen, 34^m; bereits nach zweistündigem Erwärmen war es blässer geworden, und zwar bei der geringen Temperatur von 88°, und war mehr hellgelb. Bei 180 bis 200° erwärmt, wurde dieses Glas ganz farblos, und zwar bereits nach zirka 20 Minuten.

Dagegen war ein zweites Glas viel widerstandsfähiger, es war, mit Sauerstoff gefüllt, 1 *g* Radiumchlorid durch 23 Tage ausgesetzt gewesen und hatte eine Amethystfarbe erhalten; es blieb bis 180° unverändert.[1]

Chromoxydboraxglas wurde durch Radium von ursprünglich grün, 12^m bis 13^m, zu braun, 35^m, verändert; nach 8 Stunden bei 89° erwärmt, zeigte es sich blässer und etwas mehr grünlichgrau bis orangegrau, 7^u bis 34^{l-u}.

[1] Leider war die Zusammensetzung dieses Glases nicht bekannt.

Ein Manganoxydboraxglas war von ursprünglich 32^i durch dreimonatliche Einwirkung mehr braun geworden, 33^m; die Veränderung ist verhältnismäßig nicht sehr bedeutend, wenn man die lange Dauer der Wirkung einer so großen Menge von 1 *g* Radiumchlorid berücksichtigt. Nach einstündigem Erhitzen bis 90° war die Veränderung noch minimal, nach vierstündigem Erhitzen jedoch sehr merklich, das Boraxglas war heller und etwas mehr gelblich geworden, 35°. Die Einwirkung der Wärme war also stärker als die der ultravioletten Lichtstrahlen, doch konnte die bei jenen wahrgenommene merkwürdige weiße Kruste hier nicht beobachtet werden, vergl. p. 1301.

Erhitzen von durch Radium veränderten Mineralien in Stickstoff.

Folgende Mineralien wurden bei 330° während 40 Minuten im Stickstoffstrom erhitzt: Calcit von Joplin, Smaragd von Habach, brauner Diamant vom Kap, graugrüngelber Zirkon von Ceylon, Hiddenit, Lithiumturmalin von Maine und violetter Flußspat von Derbyshire. Ferner wurden Boraxmanganoxydglas und unbestrahltes Chromoxydboraxglas, sowie ein Glas beigelegt, welches, mit Sauerstoff gefüllt, der Radiumstrahlung ausgesetzt worden war (p. 1290). Endlich wurde Apatit von Auburn in unverändertem, natürlichem Zustand ebenso mit Stickstoff erhitzt.

Die Resultate waren:

	Farbe vor dem Erhitzen	Farbe nach Erhitzen im Stickstoffstrom
Diamant	braun, 40^r	41^p
Zirkon	graugrün, 35^p	unverändert
Fluorit	violett, 22^e	wird bei 240° unter Zerspringen farblos
Apatit	violett, 22^{p-q}	Spur heller, 22^r
Calcit	blaßviolett, 22^p	unverändert
Turmalin	blaßrosa, 24^s	dunkelviolettbraun, 32^k
Hiddenit	gelbgrün, 13^{r-s}	unverändert
Smaragd	grün, 15°	unverändert
Chromoxydboraxglas	grün, 11°	heller, 11^p
Manganoxydboraxglas	braun, 32^i	etwas dunkler, 32^{i-h}
Glas II	violett, 22^p	fast unverändert, 22^{p-q}.

Der violette Fluorit von Derbyshire war durch Radium nicht verändert worden, er wird, wie alle Fluorite, bei Erhitzen farblos. Unverändert blieben Glas, Calcit (der zum Teil zersprungen war), Smaragd und Hiddenit, die durch Radium etwas verändert waren; ebenso Zirkon. Chromglas wird unbedeutend heller, Manganboraxglas dunkler.

Am meisten änderte sich der Turmalin, welcher durch Röntgen- und Radiumstrahlen unverändert geblieben war. Die Veränderung des braunen Diamant (vgl. Mitt. I, p. 834) war gering.

Erhitzen einiger durch Radium veränderter Mineralien im Sauerstoffstrom.

Die betreffenden Stoffe: brauner Diamant, graugelbgrüner Zirkon, Smaragd, Hiddenit, Kuntzit, Chromoxydboraxglas waren, mit Ausnahme der beiden letztgenannten, mit Radium behandelt worden, hatten aber keine größeren Änderungen erlitten. Sie wurden zuerst auf 240°, dann auf 400° erhitzt. Die Resultate sind:

Name	Farbe	Farbe nach Erhitzen	
		auf 240°	auf 400°
Diamant . . .	violettbraun, 32^m bis 40^m	40^n, unverändert	40^r, heller
Zirkon	graugrün, 35^l bis 36^l	34^n bis 35^n, heller	35^p, heller
Smaragd . . .	15^n	15°, Spur heller	15°, unverändert
Hiddenit	12^r	13^n, Spur dunkler	13^r, unverändert
Kuntzit	fast farblos	23^r, Spur dunkler	farblos
Chromglas . .	grün, 11°	—	mehr gelb
Glas	hellviolett, 22^c	rot, 24^p	fast farblos, Spur rosa

In Sauerstoff blieb also unverändert Hiddenit, Smaragd. Kuntzit wird erst bei 400° verändert, dann aber farblos. Chromoxydboraxglas neigt etwas zu gelb.

Der braune Diamant, der durch Radium etwas verändert worden war (Mitteilung I, p. 834), war bei 240° wenig verändert, aber bei 400° heller geworden, 40^m bis 40^r, Zirkon war etwas heller geworden. Bemerkenswert ist die Änderung des violetten Glases, welches, ursprünglich farblos, durch Radium, trotzdem das Glas mit Sauerstoff gefüllt war, schwachamethyst wurde; es wurde bei 240° rot, bei 400° aber fast farblos mit Stich ins Rosa; bei diesem wie bei Kuntzit, Hiddenit, trat bei 240° eine intensivere Färbung auf, während bei 400° diese wieder einer helleren weicht und spricht dies für Färbung durch mindestens zwei verschiedene, vielleicht komplementäre Farbstoffe, von welchen einer bei 400° verschwindet.

II. Bestrahlung mit ultravioletten Lichtstrahlen.

Angeregt durch eine Beobachtung von Prof. St. Meyer, welcher an durch Radium grün gefärbtem Kuntzit ein Wiederkehren der früheren Farbe nach kurzer Bestrahlung mit einer Bogenlampe beobachtet hatte, unternahm ich eine Reihe von Versuchen sowohl an mit Radium bestrahlten und bereits veränderten, als auch mit frischen, unveränderten, farbigen Mineralien und auch Gläsern. Indessen zeigte sich bald, daß der Kuntzit doch mehr eine Ausnahmestellung einnimmt, da eine gewöhnliche Bogenlampe nur geringfügige Veränderungen und nur bei wenigen farbigen Steinen rasch Farbenunterschiede erzeugt. Die erhaltenen Resultate zeigten aber immerhin die Möglichkeit, mit vollkommenen Apparaten stärkere Einwirkungen zu bekommen. Vor allem ist es nötig, einen Apparat zusammenzustellen, von welchem die ultravioletten Strahlen mittels einer Linse auf das Objekt konzentriert werden und dazu ist eine plankonvex geschliffene Quarzlinse nötig; zur Erzeugung von möglichst viel ultravioletten Strahlen ist eine entsprechende Lampe nötig. Da dieser Apparat im Institut nicht vorrätig war und seine Herstellung erst längere Zeit in Anspruch nahm, so mußte vorläufig mit einer einfachen Bogenlampe, die mit Thorium imprägnierte Kohlen hatte, gearbeitet werden und einer Quarzlinse, die aber wegen zu großer Brennweite wenig geeignet war.

Direkte Behandlung von farbigen Mineralien mit Bogenlicht.

Es wurden einige Kontrollversuche mit solchen Mineralien versucht, die vorher nicht dem Radium ausgesetzt waren, wie aus folgendem hervorgeht, ist dann die Einwirkung eine überaus geringe.

Turmalin von Elba, rosa, an einem Ende gelb, am anderen rosa, blieb unverändert nach 5 Stunden.

Rosenquarz ist dasjenige Mineral, welches sich am leichtesten durch Bogenlicht verändert, denn nach $2^1/_2$ Stunden war er fast farblos und zeigte kaum mehr einen Stich ins Rosenrote.

Grüner Fluorit von Appenzell, 16^{o-p}, war durch 50 Stunden bestrahlt worden, ergab aber kaum eine Änderung 16^r, nach weiteren 50 Stunden war er doch etwas blässer, 16^t bis 15^t.

Rosa Flußspat vom Gotthard wurde nach 53 Stunden etwas heller, von 24^r war er 26^t bis 27^t geworden, nach weiteren 40 Stunden blässer und mehr gelblichrot.

Rauchtopas vom Gotthard war nach 15 Stunden wenig verändert, von 34^r auf 41^s, nach weiteren 40 Stunden 34^s, es sind also kaum bestimmbare Unterschiede.

Brasilianischer Topas, orangegelb, 4^{s-t}, wurde eine Spur mehr gegen Orangegelb gefärbt nach 68 Stunden.

Kuntzit wurde nach 25 Stunden nicht verändert, er war sehr schwach gefärbt gewesen, 24^n.

Hiddenit, geglüht saftgrün, 15°, war nach 50 Stunden 15°, also genau so wie früher.

Diamant vom Kap, bräunlichgrau, war nach 120 Stunden etwas heller.

Im ganzen und großen ist die Einwirkung sehr gering und nur bei Rosenquarz und grünem Flußspat größer, indes ist es ja nicht ausgeschlossen, daß bei sehr langer Einwirkung doch auch bei anderen Mineralien eine merkliche Veränderung eintreten würde.

Einfluß der ultravioletten Strahlen auf durch Radium veränderte Farben.

Während der Einfluß des Bogenlichtes auf die natürlichen Mineralfarben sehr gering und meistens sogar Null ist, lassen sich manche durch Radium veränderte Mineralfarben durch Bogenlicht wieder zurückändern, d. h. es kehrt die ursprüngliche Farbe oder eine ähnliche wieder.

Diamant.

Ein gelber Diamant vom Kap war durch $4^1/_2$ Monate mit 1 *g* Radiumchlorid bestrahlt worden, die Veränderung war kaum merklich (vergl. p. 1276), die angenommene Farbe ist 7^n.

Nach 56stündiger Bestrahlung mit Bogenlicht war dieser Diamant merkwürdigerweise etwas dunkler geworden, von 7^n ging er zu 8^l über; allerdings ist die Veränderung keine große, nach 80 Stunden war er 8^l.

Ein brauner Diamant war durch $4^1/_2$ Monate mit 1 *g* Radiumchlorid bestrahlt worden und hatte einen Stich ins Violette bekommen. 40^l. Nachdem er durch 56 Stunden mit Bogenlicht bestrahlt worden war, zeigte er mehr violetten Stich und dabei dunklere Färbung, 32^m, wenn auch der Unterschied nicht gar groß ist.

Rauchtopas.

Ein Bruchstück, welches fast farblos war, wurde durch Radium braun, nach 17 Stunden Bogenlichtbestrahlung 34^{q-r}, nach weiteren 48 Stunden 33^r, er war heller geworden, mehr grau, aber immer noch dunkler als im Naturzustand.

Amethyst.

Amethyst, bei Luftzutritt stark geglüht, wurde farblos und infolge der Erhitzung auch etwas milchig, ähnlich wie ein Milchopal. Der Radiumeinwirkung ausgesetzt, wurde er wieder violblau wie früher. Nach 37 Stunden Bogenlichtbestrahlung war er ganz unverändert.

Rosenquarz.

Rosenquarz von Madagaskar war durch Radium schwarzbraun, undurchsichtig und nur an den Kanten durchscheinend braun. Nach 60 Stunden Bogenlichtbestrahlung zeigte er nur an einer dünneren Stelle etwas braungelbe Färbung im durchfallenden Lichte, er war also wenig verändert, zeigt aber immerhin eine schwache Aufhellung.

Zirkon.

Ein gelbgrüngrauer Zirkon von Ceylon, der durch Radium sehr wenig verändert war, wurde mit ultravioletten Strahlen durch 25 Stunden behandelt und war nur wenig verändert, von 35^m zu 35^n bis 36°.

Ein brauner Zirkon (Hyazinth) von Espailly war zuerst durch Glühen blaßrötlich geworden, dann hatte er durch Radium die Farbe 3^m angenommen und war durch 37 Stunden dem Bogenlicht ausgesetzt worden: er wurde zwar nicht ganz entfärbt, war aber zinnoberfarbig mit Stich ins Graue geworden, 32^p.

Natürlicher Rubin und künstlicher Rubin.

Natürlicher Rubin aus Ceylon und künstlicher von Frémy hergestellt, waren mit Radium bestrahlt worden; ersterer war reinrot, 25^m, geworden, letzterer nicht verändert; nach 11 Stunden Bogenlichtbestrahlung blieb letzterer unverändert, während ersterer deutlich violett, 24^m, wurde.

Saphir.

Ein blauer Saphir von Ceylon, 20^r, war durch Radium gelb geworden, 6^n, und wurde nach 1 Stunde Bogenlichtbeleuchtung 8°, gelbgrün, dann nach weiteren 6 Stunden 15^z bis 16^z, blaugrün, aber heller. Die Veränderungen dieses Ceyloner Saphirs gehen rasch vor sich. Ein Bruchstück dieses Saphirs wird bei Erhitzen unter Luftzutritt sehr blaß, fast farblos, 20^n (vgl. p. 1313, Fig. 1).

Ein anderer Saphir von Ceylon war mit Radium wenig verändert, 18^m, er war nach 2 Stunden Bogenlichtbeleuchtung

nur wenig heller, 18°, auch nach weiteren 6 Stunden nicht mehr verändert.

Ein dritter, graublauer Stein von Ceylon war blaugrün durch Radium geworden, 19^r, nach 30 Stunden Bogenlichtbestrahlung war er mehr blau, 18^{p-q}. Die ursprüngliche Farbe war 39^n.

Während es bei Rubin sehr wahrscheinlich ist, daß Chrom sein wichtigstes Färbemittel liefert (daneben dürfte auch Eisen mitbeteiligt sein), ist das Färbemittel des Saphirs unbekannt. Chromgrün geht durch Radium in Braungelb über, was vielleicht darauf hinweist, daß das Chrom an der Farbe mitbeteiligt ist, aber das Verhalten der Saphire beim Erhitzen in Gasen deutet wieder nicht auf Chrom. Möglicherweise sind mehrere Färbemittel beteiligt.

Korund vom Ural.

Der p. 1288 erwähnte violette Saphir Nr. 10 von Miasc, 24^{r-q}, war durch Radiumbestrahlung vom 14. Oktober bis 16. November, 32^h, also graubraun geworden, nach 32stündiger Bestrahlung durch Bogenlicht, wurde er 21° und nach weiteren 14 Stunden (zusammen 46) 40^{o-m}, also viel heller; er hat seine braune Farbe in violettgrau umgewandelt, die ursprüngliche Färbung war jedoch nicht ganz wiedergekehrt.

Flußspat.

Es war zu erwarten, daß Flußspat, der so stark seine Farben durch Radium ändert, auch bei Bestrahlung durch Bogenlicht größere Veränderungen zeigen wird und dies trifft auch zu.

Fluorit von Freiberg (Nr. 6), ursprünglich gelb, war durch Radium 16^{c-d}, blaugrün, dann spontan 15^{e-f} geworden (siehe p. 1280); schon nach zweistündiger Einwirkung von Bogenlicht war er wieder gelb geworden, 5^r bis 6^q; ursprünglich war er 6^{q-r} (vgl. p. 1313, Fig. 1).

Violetter Fluorit von Schlaggenwald war durch Radium 16^r bis 17^r, also blaugrün geworden; nach fünfstündiger

Bestrahlung mit Bogenlicht wird er 22^h, also wieder violett wie früher.

Hellgrüner Fluorit von Appenzell (Nr. 2) war durch Radium blaugrün, 17^{h-i}, geworden; er war schon nach 1 Stunde Bogenlichtbestrahlung violett geworden; der eine Teil des Steines war blaß, 21^l, der andere deutlich violett, 21^m.

Ein violetter Fluorit, welcher nach Radium 17^r, blaugrün, geworden war, zeigte nach 1 Stunde 19^s, blauviolette Färbung.

Zu bemerken ist, daß alle diese Flußspäte in der Zeit, die zwischen der Radiumbestrahlung und der Bogenlichtbestrahlung verlaufen war, also innerhalb 8 bis 14 Tagen, schon spontan ihre Farbe sehr merklich verändert hatten.

Topas.

Brasilianischer Topas wird, wie aus meiner ersten Mitteilung hervorgeht, nicht nur durch Radium-, sondern auch schon durch Röntgenstrahlen stark verändert; gegenteilig wirkt nun die Bestrahlung mit Bogenlicht. Ein brasilianischer Topas, ursprünglich weingelb, war durch Glühen in Sauerstoff rosa geworden, von 3^r zu 23^s; durch Radium wird er orange 2^q.

Eine 54stündige Bestrahlung mit Bogenlicht ergab Lilafärbung, 23^{s-t} bis 24^q, bereits nach 22 Stunden war die Färbung deutlich lila.

Hiddenit.

Hiddenit, welcher längere Zeit (siehe Mitteilung I, p. 833) den Radiumstrahlen ausgesetzt war und die Farbe 13^r bis 14^r, gelblichgrün, zeigte, wurde durch 20 Stunden im Bogenlicht behandelt; er war mehr gelblichgrüngrau geworden, 37^r, die Veränderung ist keine große, sie entspricht aber nicht der Farbe, die Hiddenit vor der Radiumbestrahlung hatte, da er damals mehr grün war.

Ein zweiter Hiddenit war von 15° auf 15^q, also heller geworden nach 30 Stunden.

Ich bemerke dazu noch, daß ein Hiddenit durch $1^1/_2$ Stunden im offenen Quarzglasrohre geglüht, etwas dunkler grün wurde; er ging nämlich von 14^s auf 15° und erhält eine präch-

tige Smaragdfarbe. Auch W. Hermann hatte durch Glühen im Leuchtgasstrom ähnliche Resultate erhalten. Durch Bestrahlung mit ultravioletten Strahlen erhält man jedenfalls bei Hiddenit eine ähnliche, aber nicht idente Farbe als bei Glühen in Luft oder reinem Sauerstoff.

Kuntzit.

Kuntzit nimmt in kurzer Zeit seine frühere Farbe wieder an (vgl. p. 1296).

Turmalin.

Der früher behandelte Turmalin (Nr. 1), sogenannter Mohrenkopf, der mit Ausnahme des schwarzen Endes farblos war, war durch Radium rosa geworden, 24^{t}, nach 18 Stunden Bogenlichtbeleuchtung war er violett, 32^{s} bis 30^{t}, also merklich, wenn auch nicht stark verändert.

Ein zweiter Turmalin von Elba (Nr. 2) wurde durch 24 Stunden mit Bogenlicht behandelt, ohne daß eine merkliche Veränderung eintrat.

Ein dritter Turmalin (Nr. 7), der nach Radiumfärbung stark dunkelrot an einem Teile geworden war, am anderen violettgrau, wurde durch 12 Stunden bestrahlt und wurde 24^{p}, also etwas blässer, das früher violette Ende, 40^{p}, wurde 40^{r}, mehr hellviolettgrau, der Unterschied ist nicht sehr groß.

Der in meiner ersten Mitteilung, p. 832, erwähnte Turmalin mit rosa Kern und grüner Hülle war durch Radium insofern verändert worden, als die grüne Hülle breiter wurde. Durch Bogenlicht, welches diesmal sehr lange einwirkte (100 Stunden), war die Veränderung gering.

Es geht daraus hervor, daß auch die Turmaline durch Bogenlicht keine große Veränderung erleiden, allerdings ist auch die Veränderung durch Radium keine erhebliche, wenn auch etwas merklicher als die erstgenannte.

Ein p. 1292 erwähnter rosa Turmalin von Maine durch Glühen in Stickstoff zu 32^{k}, braun; er wurde nach 24 Stunden Bogenlichtbestrahlung 42^{k}, mehr violett mit braunem Stich.

Aquamarin.

Aquamarin, welcher durch Radium eine kleine Änderung erlitten hatte (Mitteilung I, p. 833), wurde durch 55 Stunden der Einwirkung der ultravioletten Strahlen ausgesetzt; er blieb ganz unverändert.

Smaragd.

Smaragd vom Habachtal (p. 1281) war durch Radium nur wenig verändert worden, dementsprechend war auch durch ultraviolette Strahlen, die durch 48 Stunden wirkten, keine Änderung eingetreten (15^r).

Manganoxydboraxglas.

Durch Zusammenschmelzen von Borax mit Manganoxyd erhält man ein zinnobergraues Glas. Dasselbe war durch Einwirkung von Radium (p. 1286) zu 33^m umgewandelt worden, also braun mit violettem Stich; nach vierstündiger Behandlung mit der Bogenlampe bildete sich auf der Oberfläche eine weiße Kruste und wurde der Körper etwas heller, ohne aber seine Farbe zu ändern.

Chromboraxglas.

Das Chromboraxglas, ursprünglich 11°, war zu 7^e, also viel heller und auch etwas durchscheinend geworden.

Chromglas wurde noch durch weitere 10 Stunden exponiert und wurde schließlich grünlichgelb und durchsichtig, 4^i.

Unverändertes Chromboraxglas war durch Bogenlicht nicht verändert worden.

Überaus widerstandsfähig war das p. 1288 erwähnte hell amethystblaue Glas, das diese Farbe durch Radium erhalten hatte, nach 45 Stunden ergab sich noch keine Änderung, wohl aber nach 80 Stunden, und merkwürdigerweise war das Glas dunkler amethystfarben geworden als früher, nämlich 22°, während es früher 22^{s-t} war.

Bernstein.

Auch auf den durch Radium veränderten Bernstein haben die ultravioletten Strahlen Einfluß; er war von 5° zu 5^r bis 6^r

geworden, während er durch Radium in 5° verwandelt worden war und war also heller geworden, die Einwirkung der ultravioletten Strahlen ist also der des Radiums wie gewöhnlich entgegengesetzt.

Opal.

Opal hatte keine Änderung erlitten trotz 24stündiger Bestrahlung.

Baryt.

Der p. 1286 erwähnte Barytkrystall von Felsöbanya, schalig, war durch Radium bläulich geworden. Nach 18stündiger Bestrahlung mit Bogenlicht war dieser Baryt merklich heller und mehr bläulichgrau geworden, so daß also auch bei diesem Mineral die Radiumfärbung durch Bogenlicht zurückgeht.

Apatit.

Der in meiner ersten Mitteilung, p. 832, erwähnte Apatit von Auburn war durch Radium etwas verändert worden, heller und deutlicher violett. Nach 12 Stunden Bogenlichtbestrahlung war er von 21^q zu 22^{m-n} geworden, wieder dunkler; ursprünglich war er 21^n.

Versuch mit Wasserstoffsuperoxyd.

Einige Stoffe waren durch 10 Tage mit höchstkonzentriertem Wasserstoffsuperoxyd behandelt worden. Unverändert blieb gelber Diamant (8^t). Ein durch Radium veränderter Rosenquarz, der ganz schwarz, 7^a, und nur an den Kanten braun durchscheinend war, hellte sich an den Kanten bedeutend auf und wurde bräunlichgelb.

Grüner Fluorit, 15^q, war wenig verändert, aber an den Rändern heller geworden.

Ein Fluorit, mit Radium violett geworden, 20^m, wurde an dem einen Ende fast farblos und war überhaupt blässer.

Frischer, unverändert violetter Calcit von Joplin war etwas trüb.

Das p. 1288 erwähnte, durch Radium gefärbte Glas war etwas dunkler, unverändert waren Diamant, violetter Korund. Die Veränderungen sind begreiflicherweise mehr oberflächliche.

Übersicht der Veränderungen mit verschiedenen Agentien.

In nachfolgender Tabelle stelle ich die wichtigsten Resultate der Veränderungen mit Radium-, Röntgen-, ultravioletten Strahlen zusammen, sowie auch die durch Erhitzen in verschiedenen Gasen erzeugten Verfärbungen.

Bei letzteren habe ich auch die Resultate von W. Hermann[1] berücksichtigt, in zwei Fällen die von Simon.[2] Für Apatit vergl. auch die Arbeit von W. Pupke, Inaugural-Dissertation 1908.

[1] Zeitschrift für anorg. Chemie, 1908.
[2] N. Jahrb. für Mineralogie, 1908.

I Name des Minerals	II Ursprüngliche Farbe	III Färbung durch Radium	IV Färbung durch Röntgenstrahlen	V Färbung durch ultraviolette Strahlen nach Radium	VI Färbung durch Erhitzen in Sauerstoff nach Radium	VII Färbung durch Glühen in Stickstoff nach Radium
Diamant	gelb	Spur mehr gelb	—	Spur mehr gelb	uneränd.	—
»	grün	mehr blau	—	—	—	—
»	braun	violettbraun	Stich ins Violette	mehr bräunlichviolett	heller braun	mehr purpur
»	grau	unveränd.	—	etwas heller	—	—
Amethyst	violettblau	fast unv.	unveränd.	unveränd.	farblos	farblos
Citrin	zartgelb	schwarzbraun	braungelb	—	farblos	—
Rosenquarz	zartrosa	braun	schwach gelbbraun	heller braun	farblos	—
Rauchquarz	schwach braun	schwarzbraun	bräunlich	kaum verändert, Spur heller	farblos	—
Bergkrystall	farblos	zart bräunlich	—	—	farblos	—
Rubin	blutrot	rein rot	unveränd.	Spur mehr violett	unveränd.	—
Violettrubin	violett	mehr rot	mehr rot	mehr violett	heller	—

VIII Färbung durch Radium nach Entfärben durch Erhitzen	IX Färbung durch Radium bei Gegenwart einer Stickstoff-atmosphäre	X Färbung durch Radium bei Gegenwart einer Sauerstoff-atmosphäre	XI Färbung durch Erhitzen in Sauerstoff	XII Färbung durch Erhitzen in reduzierenden Gasen	XIII Färbung durch Erhitzen in Stickstoff	XIV Andere Veränderungen
—	—	—	bis 600° unveränd.	unveränd.	unveränd.	—
—	—	—	gelb (nach Descloizeaux)	—	—	—
—	—	—	bis 600° unveränd.	unveränd.	unveränd.	in Ammoniakgas unverändert (nach Hermann)
—	—	—	unveränd.	unveränd.	—	—
violettblau wie II	wie II	—	farblos	farblos	gelblich (nach Hermann)	in Ammoniakgas gelb (nach Hermann)
schwarzbraun	braun	fast unverändert	farblos	farblos	—	—
braun	stärker rosa	Spur braun	farblos	farblos	unveränd.	in Ammoniak unverändert (nach Hermann). In H_2O_2 wird III heller
schwarzbraun	braun	schwach bräunlich	farblos	farblos	farblos	—
—	—	—	unveränd.	unveränd.	—	—
unverändert	—	—	unveränd.	unveränd.	unveränd.	—
—	—	—	fast unveränd.	—	—	—

I Name des Minerals	II Ursprüngliche Farbe	III Färbung durch Radium	IV Färbung durch Röntgenstrahlen	V Färbung durch ultraviolette Strahlen nach Radium	VI Färbung durch Glühen in Sauerstoff nach Radium	VII Färbung durch Glühen in Stickstoff nach Radium
Saphir I	blau	gelbbraun	gelbgrün	hellblau	farblos	bläulich
Saphir II	tiefdunkelblau	blau	unveränd.	unveränd.	hellblau	—
»	braunviolett	braun	—	bräunlichviolett	hellviolett	—
»	blaugrün	mehr grün	—	mehr blau	—	—
Zirkon	gelbgraugrün	mehr grau	—	Spur heller	mehr orangegrau	unveränd.
Hyazinth	braun	braun	—	zinnobergrau	heller	—
Smaragd	sattgrün	mehr rein grün	unveränd.	unveränd.	fast unverändert	unveränd.
Aquamarin	blaugrünlich	heller, mehr rein blaugrün	wie III	unveränd.	—	—
Turmalin	farblos	rosa bis orange	Spur rosa	violett	—	—
»	grün	unveränd.	unveränd.	unveränd.	—	—
»	rosa	gelblich	unveränd.	violett	—	dunkelviolettbraun

VIII Färbung durch Radium nach Entfärben durch Erhitzen	IX Färbung durch Radium bei Gegenwart einer Stickstoff-atmosphäre	X Färbung durch Radium bei Gegenwart einer Sauerstoff-atmosphäre	XI Färbung durch Erhitzen in Sauerstoff	XII Färbung durch Erhitzen in reduzierenden Gasen	XIII Färbung durch Erhitzen in Stickstoff	XIV Andere Veränderungen
braungelb	bräunlich-gelb	gelblich	farblos	farblos	—	—
—	violett blau	—	Spur heller blau	—	—	—
—	—	violett-braun	heller	—	—	—
—	—	mehr blau	farblos	—	—	—
—	mehr blaugrün	—	grüngrau (nach Hermann)	dunklergrau (nach Hermann)	gelbgrün-grau (nach Hermann)	in Ammoniak-gas heller (nach Hermann)
braun	dunkel-rötlichbraun	heller braun wie bei III	heller	hell, Stich ins Braune	heller	in Ammoniak-gas fast farblos (nach Hermann)
Spur dunkler	—	Spur blässer	heller wenig ver-ändert	wenig verändert	—	—
—	—	—	farblos	—	—	—
—	—	—	unveränd.	—	—	—
—	—	—	unveränd.	heller (nach Hermann)	—	—
—	—	blaurosa	grünlich	fast farblos (nach Simon)	—	—

I Name des Minerals	II Ursprüngliche Farbe	III Färbung durch Radium	IV Färbung durch Röntgenstrahlen	V Färbung durch ultraviolette Strahlen nach Radium	VI Färbung durch Glühen in Sauerstoff nach Radium	VII Färbung durch Glühen in Stickstoff nach Radium
Turmalin	gelblich	mehr orange	—	—	—	—
Topas	farblos	hellorange	Spur gelblich	—	farblos	—
»	weingelb	dunkelorange	hellorangegelb	lila	fast farblos	lila
Pyrop	gelblichrot	heller rot	heller rot	—	—	—
Hiddenit	gelblichgrün	heller	mehr grün	heller	Spur dunkler	unveränd.
Kuntzit	blaßviolett	gelblichgrün	unveränd.	blaß violett	zuerst bis 240° Spur dunkler, bei 400° farblos	—
Baryt	farblos	blau	—	hellgrau bis farblos	fast farblos	—
Calcit	violett	mehr purpur	—	—	fast farblos	unveränd.

VIII Färbung durch Radium nach Entfärben durch Erhitzen	IX Färbung durch Radium bei Gegenwart einer Stickstoff-atmosphäre	X Färbung durch Radium bei Gegenwart einer Sauerstoff-atmosphäre	XI Färbung durch Erhitzen in Sauerstoff	XII Färbung durch Erhitzen in reduzierenden Gasen	XIII Färbung durch Erhitzen in Stickstoff	XIV Andere Veränderungen
—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	in Schwefeldampf grau, in Ammoniakgas rosa (nach Hermann)
orange	orangegelb	wenig verändert	rosa	—	lila	(in Schwefel grün)
—	—	—	fast unveränd. (nach Hermann)	dunkler (nach Hermann)	unveränd.	—
—	—	—	hellgrün	dunkler	—	in Ammoniak heller (nach Hermann)
blaugrün	—	—	bei 240° Spur dunkler, bei 400° farblos	—	farblos	—
—	—	—	fast farblos	—	—	—
—	—	—	heller violett	—	unveränd.	in Wasserstoffsuperoxyd trüb

I Name des Minerals	II Ursprüngliche Farbe	III Färbung durch Radium	IV Färbung durch Röntgenstrahlen	V Färbung durch ultraviolette Strahlen nach Radium	VI Färbung durch Glühen in Sauerstoff nach Radium	VII Färbung durch Glühen in Stickstoff nach Radium
Apatit	violettblau	heller und mehr reinviolett	—	dunkler	—	heller
Chromalaun	tiefrotviolett	blaßviolett	—	—	—	grün
Flußspat	violett	blau, zum Teil wenig verändert	unveränd.	blaßviolett	farblos	farblos
»	gelb	grünblau	—	gelb	farblos	farblos
»	grün	grünblau	—	violett	farblos	—
»	rosa	etwas stärker rosa	unveränd.	Spur blässer	farblos	farblos
Chromoxydboraxglas	sattgrün	dunkelbraun	gelbbraun	grüngelb	sattgrüngelb	—
Manganoxydboraxglas	violettbraun	braun	bräunlicher	heller violettbraun	bräunlichviolett	Spur dunkler
Glas I	farblos mit grünlichem Stich	hellamethyst	—	dunkelamethyst	mehr rot	unverändert
Glas II	farblos mit grünlichem Stich	braun	—	heller	fast farblos	—

VIII Färbung durch Radium nach Entfärben durch Erhitzen	IX Färbung durch Radium bei Gegenwart einer Stickstoff-atmosphäre	X Färbung durch Radium bei Gegenwart einer Sauerstoff-atmosphäre	XI Färbung durch Erhitzen in Sauerstoff	XII Färbung durch Erhitzen in reduzierenden Gasen	XIII Färbung durch Erhitzen in Stickstoff	XIV Andere Veränderungen
—	—	heller	fast farblos bei 500°	—	—	—
—	—	—	grün	—	—	—
blauviolett	violett	blauviolett	farblos	farblos	farblos	mit Wasserstoffsuperoxyd heller
grünblau	blauviolett	unveränd.	farblos	farblos	farblos	durch Erwärmen auf 90° geht die Radiumfärbung verloren
grünblau	—	blaß-violett	farblos	farblos	farblos	mit H_2O_2 heller
—	—	rosa	farblos	—	—	—
—	—	—	unveränd.	unveränd.	heller	bei Erwärmen auf 90° wird III heller
—	—	—	unveränd. (nach Hermann)	schwach rötlich (nach Hermann)	dunkler	bei Erwärmen auf 90° wird III heller
—	dunkel-amethyst	hell-amethyst	blässer	—	—	bei Erwärmen auf 90° wird III heller
—	gelb	—	—	—	—	—

Fluorit.

Die Ansicht, daß die Flußspäte durch Kohlenwasserstoffe gefärbt seien, war lange Zeit verbreitet. Die vorliegenden Versuche weisen die Unhaltbarkeit nach, denn bis 500° geglühter Flußspat kann seine Farbe durch Radium immer wieder erhalten und diese durch ultraviolette Strahlen wieder verlieren, was bei einer organischen Substanz kaum möglich ist.

Eine andere Ansicht ist die Färbung der Flußspäte durch Manganverbindungen, welche namentlich Berthelot in den letzten Jahren wieder aufstellte. Auch diese Ansicht ist unwahrscheinlich, da sich Boraxmangangläser nicht so verhalten, wie die Flußspäte bei gleichzeitiger Behandlung beider mit Radium und ultravioletten Strahlen, sowie bei der Erhitzung.

Auch kann die Ansicht Berthelot's, daß grüner und violetter Fluorit durch verschiedene Agentien gefärbt sein sollten, kaum aufrecht erhalten werden, indem seine Ansicht, daß grüner und violetter Fluorit sich mit Radium verschieden verhalten, nicht richtig war, da beide tatsächlich grünblau, wenngleich mit verschiedener Geschwindigkeit und verschiedener Farbenintensität, werden.

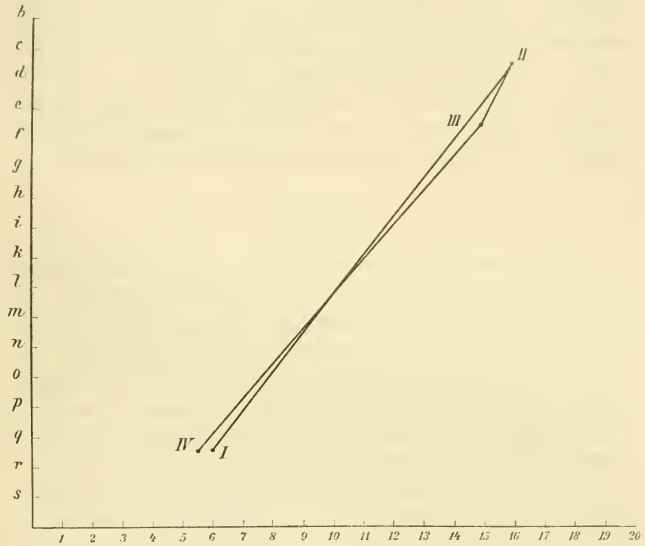
Es ist daher wahrscheinlich, daß alle Fluorite doch dasselbe Färbemittel haben und daß dieses unzerstörbar, aber veränderlich beim Erhitzen in Gasen, bei der Radiumbestrahlung und bei Einfluß der ultravioletten Lichtstrahlen sei.

Von den Flußspäten ist der rote am wenigsten veränderlich durch Radium, leichter jedoch gelber, grüner. Violetter verhält sich nicht einheitlich, der tiefdunkle Flußspat von Derbyshire wird nicht verändert, andere jedoch mehr. Alle veränderlichen Flußspäte neigen zu grünlichblau. Die erhaltenen Färbungen sind sehr labil, verändern sich schon spontan, bei gelindem Erwärmen, durch Einwirkung von Wasserstoffsuperoxyd und sehr stark unter dem Einfluß des ultravioletten Lichtes.

Stabiler sind die natürlichen Farben des Fluorits, sie können aber nur bis 220° bestehen, die Steine zerspringen dann und werden farblos. Entfärbte Fluorite sind durch Radium

leichter verfärbbar als natürliche. Ultraviolette Strahlen wirken nicht sehr stark auf letztere, wohl aber auf durch Radium gefärbte.

Welches der Farbstoff des Fluorits ist, läßt sich aber doch nicht mit Bestimmtheit sagen, denkbar wäre, daß durch Radium eine Ionisation stattfindet und daß sich vielleicht kolloidales



I bis II Färbung durch Radium.
II bis III spontane Verfärbung.
III bis IV Verfärbung durch Bogenlicht.

Fig. 1.

Calcium bildet, aber es wäre auch möglich, daß sich ein Suboxyd von grünblauer Farbe bildet, das durch ultraviolette Strahlen oder durch Wärme, durch Oxydation im allgemeinen wieder zerstört wird; jedenfalls ist eine organische Substanz nicht möglich; es muß aber angenommen werden, daß das Färbemittel ein sehr labiler Stoff ist, was für ein kolloïdales Metall spricht.

Rubin.

Was die Korundvarietäten anbelangt, so ist der künstliche Rubin, welcher nur durch Chromoxyd gefärbt ist, ganz unbeeinflußbar durch Radium- oder ultraviolette Strahlen. Bei den natürlichen Rubinen von Ceylon und vom Ural, welche einen Stich ins Violette haben, wirken die Radiumstrahlen in der Richtung, das reine Rot herzustellen, während ultraviolette Strahlen im Gegensatz dazu das Violett wieder hervortreten lassen; ein roter Rubin wurde stark violett gefärbt. Es scheint also, daß die Färbung der künstlichen Rubine durch Chrom allein, doch nicht mit der der natürlichen zusammenfällt; in letzterem ist vielleicht noch ein zweiter Farbstoff enthalten.

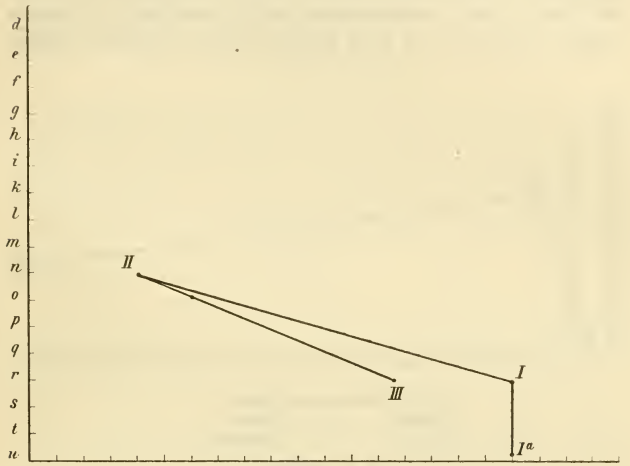
Saphir.

Saphire verhalten sich verschieden. Die meisten Ceylon-Saphire und die uralischen wurden durch Radium gelb bis braun gefärbt, je nach der Stärke des Präparats und der Dauer der Einwirkung. Durch ultraviolette Lichtstrahlen wird die ursprüngliche Farbe zwar nicht ganz hergestellt, der Saphir wird jedoch blaßblau, jedenfalls heller; indessen ist es nicht ausgeschlossen, daß bei sehr langer Einwirkung doch die ursprüngliche blaue Farbe wiederkehren konnte.

Die zweite, seltene Art von Saphiren, zu der vereinzelte, tiefdunkelblaue Saphire von Ceylon (nach Miethe der Birma-Saphir) und der Saphir von der Iserwiese gehören, wird nicht gelb, sondern verändert nur schwach die Farbe in dem Sinne, daß die blaue Färbung verschieden intensiv wird. Grünblaue Saphire werden mehr grüngelb, braunvioletter wird mehr braun.

Was das Färbemittel ist, läßt sich vorläufig nicht sagen, vielleicht sind es labile, unbekannte Chromoxyde, wahrscheinlich ist in den wenig veränderlichen, dunklen Saphiren noch ein zweites Färbemittel vorhanden, in den veränderlichen vielleicht auch eine durch Ionisation veränderliche Metallverbindung oder ein Metall wie bei Fluorit, Steinsalz; in den dunkelblauen Saphiren dürfte vielleicht am ehesten eine isomorphe Chromverbindung zu suchen sein, da sie sich wenig verändern.

Vergleicht man Rubin und Saphir, so fällt die große Stabilität der Färbung des ersten gegenüber der geringen des Saphirs auf, die violetten Rubine scheinen dazwischen zu liegen und so verschwindet die violette Färbung dieser, um der stabilen roten Platz zu machen. Es ist daher wahrscheinlich, daß diese sowohl das stabile, durch Chrom erzeugte Färbe-



I bis II Änderung durch Radium.
II bis III » » Bogenlicht.
I bis I*a* » » Erhitzen.

Fig. 2.

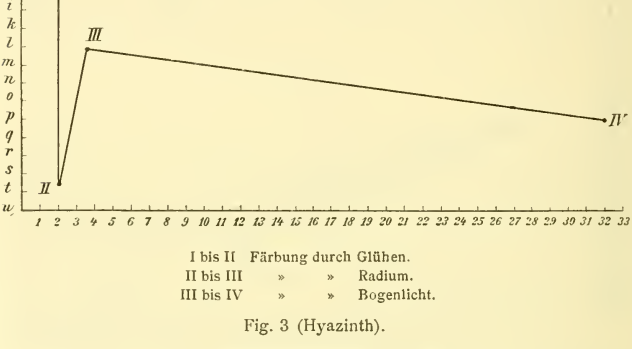
mittel neben dem labilen des Saphirs enthalten. Die dunklen, seltenen, unveränderlichen Spahire nähern sich den Rubinen.

Turmalin.

Die Turmaline verhalten sich sehr verschieden. Einheitlich gefärbte Turmaline scheinen sehr widerstandsfähig zu sein; so wird grüner Turmalin weder durch Radium- oder Röntgenstrahlen verändert und auch Erhitzen scheint nicht von Einfluß zu sein.

Auch braune Turmaline ändern sich wenig. Pfirsichblütenfarbener Lithiumturmalin wurde durch Röntgen- und Radiumstrahlen nicht verändert, wohl aber durch Erhitzen in Gasen verschieden gefärbt.

Anders verhalten sich diejenigen Turmaline, die an ihren verschiedenen Teilen verschiedene Farben zeigen, hier treten durchwegs Veränderungen auf. Rosa Turmalin wird mehr gelb bis orange, ein orangefarbener mehr braungelb; in einem anderen Falle war ein rosa Turmalin nach 3 Monaten stärker



I bis II Färbung durch Glühen.
II bis III » » Radium.
III bis IV » » Bogenlicht.

Fig. 3 (Hyazinth).

rosa geworden und nicht gelb, im allgemeinen verschwindet die farblose Schicht.

Ein sogenannter Mohrenkopf, der ein schwarzes Ende hatte, sonst aber fast farblos mit zartem gelben Stich, wird durch Radium rosa, durch ultraviolette Strahlen mehr carmin. Erwärmen bis 90° hat wenig Einfluß.

Farblose Schichten zwischen gefärbten eingelagert, schienen von diesen Farben aufzunehmen, was auf eine Diffusion im festen Zustand hinweist, jedenfalls sind aber in derartigen Turmalinen verschiedene Färbemittel, die auch chromatisch sich neutralisieren.

Bei Turmalin werden wir diejenigen Stoffe als Färbemittel heranziehen, die als isomorphe Beimengung

an der Zusammensetzung dieser Turmaline teilnehmen. Daher verändern sich einheitlich gefärbte Turmaline auch gar nicht oder nur in Spuren.

Zirkon.

Gelbgrüne Zirkone werden durch Radium wie auch durch ultraviolette Strahlen wenig verändert. Bläulichgrüner Zirkon wird durch Radium etwas mehr blau.

Hyazinth (Fig. 3).

Hyazinth wird durch Radium wenig mehr geändert; durch Glühen bei Luftzutritt farblos oder blaß gewordener Hyazinth nimmt unter dem Einfluß der Radiumstrahlen wieder seine ursprüngliche Farbe an, Erwärmen macht ihn wieder blässer, dieselbe Wirkung haben ultraviolette Strahlen. Sauerstoff wirkt dem Radiumeinfluß mehr entgegen als Stickstoff. Wasserstoff hat nach Simon keinen Einfluß.

Bei den verschiedenen Zirkonen, namentlich bei grünem und bei braunem, können gewiß verschiedene Färbemittel herangezogen werden, bei ersterem sind es wahrscheinlich die Oxyde des Chroms und des Eisens, bei letzterem halte ich aber, dem Verhalten von Radium- und ultravioletten Strahlen nach, vielleicht eine Färbung durch ein Kolloidmetall nicht für ausgeschlossen, es dürfte durch Radium Ionisation eintreten, die Eisenoxyde allein dürften nicht genügen, um die Verfärbungen zu erklären, wenngleich es immerhin wahrscheinlich ist, daß sie an der Färbung mit teilnehmen.

Topas.

Farbloser Topas wird sowohl durch Röntgen- als auch durch Radiumstrahlen hellgelb gefärbt mit Stich ins Orangefarbene, ultraviolette Strahlen wirken in entgegengesetztem Sinne.

Gelber brasilianischer Topas wird durch Röntgenstrahlen und viel mehr noch durch Radiumstrahlen orangegelb gefärbt. Ultraviolette Strahlen stellen die ursprüngliche Farbe wieder her. Auch durch Glühen entfärbter Topas wird wieder orange durch Radium.

Im Sauerstoffstrom erhitzt, wird Topas rosa, im Stickstoffstrom mehr lila. Radium verwandelt auch diese Farben in orange und ultraviolette Strahlen geben wieder die ursprüngliche Farbe. Eine gewisse Ähnlichkeit mit dem Verhalten des Saphirs liegt vor. Jedenfalls ist weder organische Substanz noch Chrom vorhanden, wir haben hier eher an eine Färbung wie bei den Quarzen (Flußspaten) zu denken.

Quarze.

Was die Quarzvarietäten anbelangt, so sehen wir, daß Amethyst sich doch etwas verschieden verhält. Amethyst wird niemals unter dem Einfluß von Radium braun, während alle anderen, Rosenquarz, Citrin, Rauchquarz, Bergkrystall, sich mit verschiedener Geschwindigkeit gelbbraun bis schwarzbraun färben, wobei am langsamsten die Färbung des farblosen Bergkrystalls vor sich geht. Ultraviolette Strahlen wirken bei den verschiedenen genannten Varietäten mit verschiedener Geschwindigkeit mehr in entgegengesetztem Sinne wie Radium, der Bergkrystall am schnellsten, Rauchquarz und Rosenquarz langsamer.

Amethyst wird weder durch Radium- noch durch ultraviolette Strahlen stärker beeinflußt, steht also außerhalb der Reihe. Bei Amethyst könnte man an Mangan- oder Eisenverbindungen denken.[1] Rauchtopas, Citrin, Rosenquarz dürften in sehr ähnlicher Weise gefärbt sein, vielleicht durch dasselbe Mittel in verschiedenen Verdünnungen. Wir sehen, daß Sauerstoff der Ionisation entgegenwirkt und daß Wasserstoffsuperoxyd an den Kanten die Radiumfarbe zum Verschwinden bringt. Es scheint also Sauerstoff der Färbung entgegenzuwirken, was auf Ionisation deutet.

Es dürfte vielleicht ein Zusammenhang mit dem im Quarz bestehenden fein verteilten Natriumsilikat vorhanden sein, denn wie aus den Arbeiten von Warburg und Tegetmeyer bekannt ist,[2] enthalten Bergkrystall und Rauchquarz fein verteiltes Natriumsilikat, das elektrisch ziemlich stark leitet. Möglicher-

[1] Vgl. auch Simon, l. c.

[2] Annalen der Physik, 1887, Bd. 32; 1888, Bd. 33; 1890, Bd. 41.

weise tritt durch Radium eine stärkere Ionisierung und Bildung von kolloïdalen Metallen ein, die in feiner Verteilung die Farbe erzeugen könnten.

Smaragd und Aquamarin.

Die Änderungen von Smaragd und Aquamarin sind nicht sehr groß. Smaragd wird beim Erhitzen unter Luftzutritt heller, bei Temperaturen von 500° war der Unterschied gering, bei 1200° wird er fast farblos. In reduzierenden Gasen widersteht er der Entfärbung.

In Radium ist die Wirkung keine bedeutende. Smaragd wird mehr rein grün, erhitzter Smaragd wird wenig dunkler. Im ultravioletten Lichte verändert sich durch Radium behandelter Smaragd wenig.

Aquamarin wird in Radium etwas heller und mehr bläulich, Röntgenstrahlen machten ihn mehr bläulich.

Im ultravioletten Lichte ändert sich durch Radium bestrahlter Aquamarin nicht. Bei diesen Beryllvarietäten wird man vielleicht an isomorphe Chromverbindungen als Färbemittel zu denken haben; jedenfalls sind es sehr stabile Farbstoffe.

Lithiumaugit $LiAlSi_2O_6$.

Hiddenit wird durch Erhitzen im Tiegel dunkler. Radium macht etwas heller; dieselbe Einwirkung haben ultraviolette Lichtstrahlen.

Kuntzit wird durch Radium grün, nimmt die Farbe des Hiddenit an, durch ultraviolette Strahlen wird er wieder violett wie früher, Glühen entfärbt ihn. Radium färbt ihn wieder grün.

Das Färbemittel beider ist wahrscheinlich dasselbe, doch läßt sich darüber nichts sagen, vielleicht liegt hier Chrom und Eisen vor, wogegen allerdings die labile Färbung spricht, vielleicht auch ein kolloïdales Metall.

Barytgruppe.

Wir wissen, daß es in der Natur gefärbte Baryte, namentlich aber schöne blaue Coelestine ($SrSO_4$) gibt. Dieselbe Farbe

wurde durch Radium bei Baryt hervorgebracht. Bogenlicht wirkt dem Radium entgegengesetzt. Von Interesse war es, daß auch Anglesit, Coelestin blau werden. Herr Dr. Himmelbauer hatte diese Mineralien der Radiumbestrahlung unterworfen und sie zeigten ähnliche blaue Färbung. Da die Metalle verschieden sind, so dürfte vielleicht eine Ionisation der Schwefelsäure eine Bildung einer labilen Schwefelverbindung die Färbung verursachen.

Stabilität der Mineralfarben.

Betrachtet man die Stabilität der Farben gegenüber den verschiedenen Agentien, z. B. Gasen, Radiumbestrahlung, ultravioletten Lichtstrahlen, so findet man, daß gewisse Stoffe sehr stabile Farben haben, andere dagegen sehr labil sind. Im allgemeinen sind idiochromatische Körper viel stabiler als dilut gefärbte. Wenn die Farbe eines Stoffes für diesen charakteristisch ist, so wird sie auch stabil sein, vorausgesetzt, daß nicht durch die angewandten Agentien der Stoff selbst umgewandelt wird. Schwefel wurde allerdings etwas verändert, dies kann aber in einer Oxydation seine Ursache haben, vielleicht auch durch beginnende molekulare Umsetzung. Eine Reihe von eigenfärbigen Salzen, Silikate, Carbonate etc. blieb unverändert. Bei isomorpher Beimengung ist die Veränderung gering.

Unter den dilut gefärbten Körpern erscheinen einige sehr stabil zu sein, so der Diamant, der fast gar nicht oder nur sehr wenig reagiert, welche Farbe er auch besitzt, dann ist Rubin auch sehr stabil, bei diesem liegt isomorphe Färbung vor.

Die Gläser haben im allgemeinen wenig stabile Färbung, dagegen sind unter den Mineralien Turmaline, Berylle stabiler.

Äußerst labile Färbungen zeigen die Flußspäte (von denen die dunkelvioletten noch die stabilsten sind), dann, aber weniger, die gefärbten Quarze, gefärbter Baryt.

Man kann immerhin den Schluß ziehen, daß bei stabilen Färbungen stabile isomorphe Metalloxyde, namentlich des Chroms, Eisens, Mangans vorkommen, bei den labilen jedoch können diese weniger in Betracht kommen.

Allgemeine Folgerungen.

Noch sind wir weit entfernt davon, die Natur der Mineralfarben mit Sicherheit bestimmen zu können, dazu müssen verschiedene Untersuchungsmethoden, insbesondere auch die Spektralanalyse, sowie synthetische Methoden herangezogen werden. Nur so viel läßt sich sagen, daß die organischen Färbemittel kaum eine Rolle spielen. Aber auch die entgegengesetzte Ansicht Weinschenk's, daß die seltenen Erden es sind, dürfte sehr einzuschränken sein. Bei Diamant dürfte vielleicht Uran, Titan (bei den braunen) eine Rolle spielen, aber im allgemeinen sind Eisen-, Chrom- und Manganoxyde viel wahrscheinlicher.

Eine Hypothese, welche noch wenig Beachtung fand, ist die, ob nicht, wie bei Steinsalz, manche Färbemittel durch Spuren von kolloidalen Metallen gegeben sind und ob Radium nicht durch Ionisierung die Färbungen verursacht, jedenfalls scheinen die meisten Mineralfarben wenigstens bei dilut gefärbten Stoffen labiler Natur zu sein, andrerseits können auch labile, uns nicht näher bekannte Suboxyde in Betracht kommen. Von den idiochromatischen Stoffen mag natürlich hier abgesehen werden.

Im allgemeinen wissen wir eigentlich so gut wie gar nichts über die Einwirkung des Radiums; daß oft eine reduzierende Wirkung vorliegt, ist denkbar, Sauerstoff scheint nach den Versuchen, die p. 1288 erwähnt wurden, diese Wirkung jedenfalls zu schwächen, während Stickstoff wenig Wirkung hat (auch Wasserstoff nicht, nach Simon).

Den ultravioletten Strahlen können wir einen oxydierenden Einfluß zuschreiben und ist er, wie der Einfluß von Sauerstoff, vielfach der Radiumwirkung entgegengesetzt. So einfach wird aber der Prozeß nicht immer verlaufen.

Wichtig war es zu konstatieren, daß auch Wasserstoffsuperoxyd wirkt, obgleich wegen der niederen Temperatur die Einwirkung nur die äußeren Schichten trifft oder dort, wo Sprünge das Eindringen erleichtern, Oxydation scheint aber zumeist der Einwirkung des Radiums mehr oder weniger entgegenzuwirken.

Es können aber komplizierte Prozesse mitspielen, tatsächlich sahen wir auch, daß ultraviolette Strahlen oft gar keinen Einfluß haben oder wenn, dann selten im gleichen Sinne wirken wie Radiumstrahlen.

Vor allem sehen wir, daß Radium und ultraviolette Strahlen eigentlich nur bei diluten Mineralien stark wirken, bei idiochromatischen entweder gar nicht oder nur wenig, dann scheint es sehr viel von der Verbindung abzuhängen. Chromalaun wird leicht verändert, ebenso wie Eisenvitriol, Chromsilikat fast gar nicht. Bei durch Chrom gefärbten Körpern haben wir große Verschiedenheiten, obzwar gerade das Boraxglas, mit Chromgrün gefärbt, von Radium schnell verändert wird, aber schon Chromsilikat wird fast gar nicht verändert. Rubin enthält wie Smaragd vielleicht das Chrom als isomorphe Beimengung und in einem solchen Falle ist die Änderung sehr gering.

Die Änderung ist bei dilut gefärbten Stoffen immer am größten; bei chemischen Verbindungen, deren Farbe durch die Art der Verbindung bewirkt wird, ist sie gering oder Null, wie die p. 1284 erwähnten Beispiele beweisen.

Was nun die Einwirkung der Wärme anbelangt, so hängt sie bei natürlichen, unveränderten Mineralien zum Teil von den Gasen ab, in welchen erwärmt wird, während in anderen Fällen das nicht der Fall ist. Betrachten wir diese allein, so finden wir in den meisten Fällen mit verschiedenen Gasen verschiedene Farbenänderung, insbesondere wenn man auch die feineren Nuancen berücksichtigt und auch die Leichtigkeit, mit welcher die Farben sich verändern, welche durch die Geschwindigkeit, mit welcher die Reaktion eintritt, ausgedrückt wird. So wurde bereits erwähnt, daß zur Entfärbung eines Smaragdes, eines Saphirs in Sauerstoff oder in reduzierenden Gasen verschiedene Zeit und verschieden hohe Temperatur nötig ist. Es gibt allerdings Fälle, wo die Gase keinen Einfluß haben, wie z. B. bei Fluorit und bei Rauchquarz. Simon, welcher überhaupt die Ansicht vertritt, daß nur Wärme wirkt, hat hauptsächlich mit solchen Stoffen zu tun gehabt, bei welchen das Gas geringen Einfluß hat, doch hat auch er bei rosa Turmalin verschiedene Resultate mit Sauerstoff und mit Wasserstoff erhalten (p. 290).

Die Resultate sind also teils bei allen Gasen dieselben, teils zeigen sich Verschiedenheiten. Ich habe mich in der ersten Mitteilung dagegen ausgesprochen, daß man immer die Erwärmung allein als Ursache der Änderung betrachten soll.

Wie aus den Versuchen p. 1292, 1302 hervorgeht, spielen die Gase doch oft eine Rolle. Leider lassen sich Versuche der Einwirkung von Gasen ohne Erwärmung nicht gut ausführen, da Mineralien nicht permeabel sind.

Dort, wo kleine Temperaturerhöhungen auf 90° schon Änderungen herbeiführen, wird man wohl die Wärme nicht als Hauptursache anführen können, das ist jedoch nur in seltenen Fällen möglich gewesen, bei manchen Boraxgläsern und bei Fluorit, andere Mineralien bleiben unberührt und auch ein Silikatglas veränderte sich nicht.

In Versuchen von W. Hermann[1] hat meine Ansicht eine Stütze, aber auch Simon,[2] welcher der Ansicht ist, daß die Gase keinen Einfluß haben, erwähnt Beispiele von Turmalin, bei dem Sauerstoff und Wasserstoff verschieden wirkten.

Der Unterschied bei Einwirkung verschiedener Gase tritt deutlicher hervor, wenn man die Grade der Farbenänderung genauer berücksichtigt und auch die Intensität, auf welche die Farben sich ändern, sowie die Geschwindigkeit, mit welcher die Reaktion eintritt. So wurde bereits erwähnt, daß die Entfärbung von Saphir, Hyazinth in verschiedenen Gasen nicht in der gleichen Zeit vor sich geht.

Andrerseits darf nicht vergessen werden, daß mancher Flußspat seine durch Radium erhaltene Farbe ohne jede Erwärmung und ohne Lichteinwirkung wieder verliert, wahrscheinlich wirkt hier der Sauerstoff der Luft, auch Wasserstoffsuperoxyd kann oberflächlich wirken.

Versuche durch Erhitzen der im Vakuum befindlichen Mineralien wären notwendig.

Es scheint zweierlei Körper zu geben, solche, wie die Quarzvarietäten, bei welchen die Erhitzung in verschiedenen Gasen immer dasselbe Resultat gibt, und solche, bei denen die Gase verschiedene Resultate geben.

[1] Zeitschr. f. anorgan. Chemie, *60*, 1908.

[2] N. Jahrb. f. Mineralogie Beil., *26*, 1908.

Was nun die ursprünglichen Färbungen der Mineralien anbelangt, so scheinen sie etwas mehr durch die Gase beeinflußt zu werden, als die durch Radium verursachten Färbungen.

Daß Mineralfarben in verschiedenen Gasen dadurch sich verschieden ändern, daß verschiedene Oxyde sich bilden, ist leicht begreiflich und wird bei den Boraxgläsern seit langer Zeit benutzt, wie auch in der Glasfabrikation.

Stoffe, die bei Temperaturerhöhung in verschiedenen Gasen dasselbe Resultat geben, wie Rauchquarz, Fluorit, müssen ein für höhere Temperatur sehr labiles Färbemittel haben und das scheint auch bei manchen Radiumfarben der Fall zu sein. Nehmen wir an, die bei Rauchquarz durch Radium hervorgebrachte Färbung beruhe auf einer Bildung von Natrium oder Silicium, so würde ein Erhitzen sowohl in Sauerstoff als Stickstoff oder Wasserstoff eine Verbindung erzeugen können und dadurch die Farbe zum Schwinden bringen, Radium könnte die Ionisierung wieder herstellen.

Betrachten wir solche Mineralien, welche sowohl farblos als auch gefärbt in der Natur vorkommen, so liegt es nahe, nachzuforschen, ob bei dieser Färbung auch das Radium eine der Ursachen dieser Färbung ist. Dabei werden wir nur die dilut gefärbten Mineralien ins Auge fassen müssen.

Manche Quarze werden durch Radium gelb bis braun gefärbt, je nach der Zeit und Menge von Radium wird die Farbe verschieden sein können. Allerdings ist es nicht festgestellt, ob alle Quarze diesem Färbungsprozeß unterliegen.

Was die Stabilität der Radiumfarben anbelangt, so sehen wir, daß in vielen Fällen diese Farben unstabil sind, von selbst wieder schwinden oder bei ganz geringer Temperaturerhöhung, durch Einfluß von ultravioletten Strahlen schwinden. Solche Farben dürften daher in der Natur nicht durch Radium entstanden sein, wo aber die Farbenänderung stabiler ist, wie bei Rauchquarz und gelbem Saphir, dürfte man eher geneigt sein, anzunehmen, daß die betreffenden Mineralien in der Natur dem Radium ihre Farbe verdanken, obzwar der Fall vielleicht nicht häufig sein dürfte.

Jedenfalls dürften alle braun gefärbten Quarze, bei welchen durch Erhitzen oder durch Bogenlicht die Farbe verloren

worden, diese Farbe unter dem Einfluß des Radiums wieder erhalten.

Es wäre von Interesse nachzuspüren, ob das Vorkommen von Rauchquarzen stets gebunden ist an das Vorkommen von solchen Mineralien, die Radium abgeben können, insbesondere uranhaltigen, thor- oder blei-, wismuthaltigen, wie es bei einigen Vorkommen auch wirklich der Fall ist.

Jedenfalls dürfen wir Citrine und Rauchquarze als durch geringe Mengen an Radium entstanden denken, dagegen ist es bei Amethyst zweifelhaft, bei Rosenquarz scheint nach dem bisher bekannten Verhalten der Schluß begründet, daß Radium entweder nicht vorhanden war oder daß seine Färbung nur mit Spuren von Radium in Zusammenhang steht, da ja auch Rosenquarz durch Radium braun wird.

Bei Saphir fällt das früher besprochene verschiedene Verhalten einzelner Saphire auf, viele werden durch Radium gelb, andere wieder nicht, möglicherweise liegen verschiedene Farbstoffe vor. Von den Saphiren haben wir immerhin anzunehmen, daß die gelben unter dem Einfluß des Radiums entstanden sind, es wäre auch hier von Interesse zu untersuchen, ob mit ihnen radiumhaltige Mineralien vorkommen.

Da viele der behandelten Edelsteine bei höherer Temperatur ihre Farbe verlieren, könnten wir schließen, daß diese nicht bei hohen Temperaturen entstanden sein können, allerdings dürfte bei Korund, Zirkon auch der Druck der Gase mitspielen und es ist leicht möglich, daß bei Anwesenheit gewisser Gase unter Druck die Entfärbung wenigstens bei mittleren Temperaturen nicht vor sich geht. Viele der erwähnten Edelsteine stammen aus Tiefengesteinen, bei denen ja die Temperaturerhöhung sicher ist, und blauer Saphir kommt sogar in Basalt vor; die Ursache, daß diese nicht entfärbt wurden, wird wohl in den Gasen zu suchen sein. In manchen Fällen, wie bei Rauchquarz, kann eine nachträgliche Färbung durch Radium möglich sein. Jedenfalls sind die Färbungen der Mineralien auch von Interesse für ihre Genesis.